

PANORAMAS SETORIAIS 2030

# MINERAÇÃO E METALURGIA

Pedro Sérgio Landim de Carvalho  
Pedro Paulo Dias Mesquita  
Nicole Agostinho Cardarelli\*

\* Respectivamente, gerente, economista e estagiária do Departamento de Mineração e Metais (DEINB) da Área de Indústrias de Base (AIB) do BNDES.

## 1. Introdução

A indústria de mineração foi responsável por mais de 20% das exportações brasileiras nos últimos dez anos. A metalurgia foi o principal destino de investimento externo direto na indústria, no mesmo período. Ambos os setores, pelo grande volume de material movimentado, característica tanto da mineração como da metalurgia, são responsáveis pela construção e viabilização de infraestruturas logísticas de grande porte, essenciais para a competitividade do país.

A atual velocidade do desenvolvimento e do avanço de novas tecnologias tem o potencial de promover mudanças em toda a indústria, inclusive nos setores de mineração e metalurgia, considerados tradicionais. Esses setores encontram-se diante de pressões de mercado, pressões ambientais e desafios relacionados à incorporação de conhecimento e tecnologia. Espera-se, nos próximos anos, a elevação do conteúdo tecnológico aplicado a processos mais sustentáveis e produtos de alto desempenho para o atendimento a novos mercados.

Diante da relevância da mineração e da metalurgia para a economia nacional e do cenário turbulento enfrentado, o presente trabalho procura analisar os principais aspectos que deverão orientar a organização dessas indústrias no longo prazo. Este artigo está subdividido em quatro seções, com os temas: descrição dos setores e competitividade; investimentos; estrutura de mercado; e cadeias produtivas, tendências tecnológicas e vetores de mudança, além desta introdução e das conclusões.

## 2. Competitividade

Os setores de mineração e metalurgia são tradicionalmente identificados como produtores de *commodities*. A maior parcela de produção de ambos é de produtos padronizados que concorrem em preço.

### 2.1 Mineração

Na mineração, a concorrência se dá via preços, em que pesem os diferenciais de qualidade dos minérios, geralmente traduzidos em prêmios pagos sobre o preço-padrão de mercado. Dessa forma, a competitividade das empresas é determinada principalmente pela qualidade das jazidas e eficiência de seus processos, o que resulta em mais baixos custos de produção.

A imposição de uma agenda com foco na melhoria de processos, e na redução de riscos e mitigação de impactos socioambientais tende a elevar o conteúdo tec-

nológico dos empreendimentos mineiros, por meio, principalmente, da adoção de sistemas de desenvolvimento de mina e de conjuntos de máquinas e equipamentos de monitoramento e controle para operações mais automatizadas e eficientes. Esse movimento vem sendo observado pela adoção de sistemas de produção cada vez mais autônomos, a exemplo de correias transportadoras de longa distância em substituição a caminhões, adoção de perfuradores e caminhões autônomos, sistemas automatizados de monitoramento e controle nos processos de beneficiamento, entre outros.

As empresas líderes na mineração são em geral grandes grupos detentores de importante volume de capital e jazidas de qualidade, com maior capacidade de enfrentar os ciclos de mercado, que por vezes impõem períodos prolongados de baixos preços de produto, com redução das margens operacionais e inviabilização de empreendimentos de maior custo operacional.

O aumento da competição global nesses setores tem levado a um comportamento unânime por redução de custos, via tecnologia. Em geral, os empreendimentos mineiros adotam tecnologias desenvolvidas por empresas de engenharia e fabricantes de máquinas e equipamentos. No entanto, a competição acirrada tem empurrado as empresas para o desenvolvimento interno, ou em parceria, de tecnologias e processos promotores de eficiência operacional, menor custo e sustentabilidade.

Nesse contexto, as empresas Vale e Votorantim Metais estão caminhando para elevar a importância e o conteúdo tecnológico em suas operações mineiras, com maior participação em atividades de desenvolvimento e inovação que promovam diferenciais competitivos e as possibilitem estar entre as empresas de menor custo de operação mundial.

Além da qualidade e do tamanho das jazidas, determinantes na indústria mineral, a experiência de atuação e o conhecimento acumulado deverão compor o conjunto de forças das empresas brasileiras, com impacto sobre a capacidade de desenvolvimento de tecnologias e melhoria de processos. No entanto, a baixa concentração no país de empresas fornecedoras de engenharia, máquinas e equipamentos, e *softwares* aplicados à mineração deverá representar uma fraqueza para as mineradoras brasileiras, por acarretar maiores prazos e esforços de desenvolvimento.

Dessa forma, a competitividade futura dos empreendimentos na mineração estará fortemente relacionada ao desenvolvimento e à adoção de tecnologias mais eficientes e sustentáveis. Para isso, será necessário a formação de redes de negócios que contemplem grandes fornecedores de engenharia, máquinas e equipamentos, e *softwares* aplicados à mineração, capazes de atuar em parceria com as mineradoras para inserção de novas tecnologias e processos capazes de reduzir seus custos operacionais.

Um cenário de maior responsabilidade socioambiental imputada a empresas e investidores deverá promover a elevação do capital investido em empreendimentos mineiros, os quais deverão incorporar sistemas mais complexos e intensivos em capital para monitoramento e controle das operações e dos riscos associados, bem como maior volume de investimentos nas comunidades e regiões afetadas.

## 2.2 Metalurgia

No setor metalúrgico, a indústria do aço é responsável por cerca de 90% da produção total. Há uma tendência à aplicação de cada vez mais tecnologia ao desenvolvimento de novas ligas metálicas, com maior desempenho relacionado a exigências específicas para sua aplicação. Nos próximos 15 anos, deverá aumentar a produção de ligas metálicas e materiais customizados mais intensivos em conhecimento e tecnologia. Pode-se citar, como exemplo, a indústria automotiva, que tem exigido aços cada vez mais resilientes e com menor peso, propriedades que antes eram antagônicas. Esse desafio, a siderurgia está gradativamente conseguindo vencer, com o uso de elementos como o boro e o nióbio.

Daí decorre uma distinção entre uma atividade “de massa” – de produção de aços padronizados de mercado, como aços comuns ao carbono, em que a competição se dá via preços e conta com a presença de grandes grupos siderúrgicos, os quais gozam de barreiras à entrada relacionadas a economias de escala e volume grande de capital investido – e o segmento de ligas especiais, com características termomecânicas ou eletromecânicas mais customizadas para diversos clientes em diferentes setores industriais. Esse último, caracterizado pela aplicação de tecnologia ao processo de prospecção, formulação e desenvolvimento de novos materiais capazes de promover maior eficiência e qualidade de produtos a jusante, principalmente nas cadeias de transportes, energias renováveis, máquinas e equipamentos, saúde e eletroeletrônicos.

A produção de produtos padronizados de aço-carbono tende a se comportar de forma semelhante à produção das demais *commodities*. Como na mineração, o acirramento da competição global e da pressão por redução de impactos ambientais tem levado a uma agenda de adoção de tecnologias e processos mais eficientes e sustentáveis. O desenvolvimento das tecnologias e processos para metalurgia em geral tem foco na redução e recuperação de energia dispersa nas diversas etapas do processo, como forma de redução de consumo energético e de emissões. Esses desenvolvimentos contam com o protagonismo de grandes grupos fornecedores de engenharia e sistemas industriais, a exemplo do SMS Group, da Danieli e da Thyssenkrupp.

O desenvolvimento e a produção de novos materiais metálicos envolvem produtos mais intensivos em tecnologia, com maiores preços de venda e melhores margens

operacionais. Os agentes atuantes nesse segmento são diversos e se caracterizam pelos investimentos em P&D em novos materiais em parceria com usuários de ligas metálicas. Nesse caso, cabe destacar o papel de novas tecnologias (*big data*, impressão 3D) que têm facilitado enormemente o processo de desenvolvimento e teste de novas ligas. Uma possibilidade é, por exemplo, a utilização de plataformas digitais para definição de rotas de desenvolvimento de ligas com base nas características mapeadas de elementos minerais e processos de produção. Essa tecnologia associada à maior facilidade de teste dessas ligas em protótipos impressos tende a acelerar e reduzir custos de desenvolvimento de ligas customizadas.

Tendências de aceleração do conteúdo tecnológico na metalurgia têm promovido o surgimento e crescimento de agentes especializados em tecnologias e sistemas industriais. Além disso, grandes empresas líderes da metalurgia mundial têm investido em P&D e promovido capacidade de desenvolvimento de tecnologias de processos e novas ligas metálicas. As empresas ArcelorMittal, Nippon & Sumitomo, Posco, Baosteel e Voestalpine são alguns exemplos de grandes produtores de aço que seguem essa tendência de investimento cada vez maior em tecnologia aplicada tanto a processos quanto ao desenvolvimento de novos produtos, que parece ser um importante vetor na indústria metalúrgica, favorável a essas empresas.

Dessa forma, as empresas líderes na metalurgia tenderão a acumular atividades de produção de *commodities*, competindo em preços, produção de novos processos que promovam vantagem competitiva em preços, qualidade e processos mais sustentáveis, além da produção de novos materiais intensivos em tecnologia.

Entre as siderúrgicas brasileiras, a Gerdau e a Usiminas podem ser apontadas como empresas que, atualmente, contam com estratégias baseadas na formação de parcerias, elevação do conteúdo tecnológico de suas operações e exploração de novas oportunidades de mercado.

Por fim, um dos principais desafios para aumento da competitividade tanto da mineração quanto da metalurgia no Brasil é a disponibilidade de recursos e estruturas dedicadas ao desenvolvimento e à implementação de novas tecnologias de processos industriais. No caso da metalurgia, outro importante fator promotor de competitividade é a capacidade de desenvolvimento e produção de novos materiais metálicos.

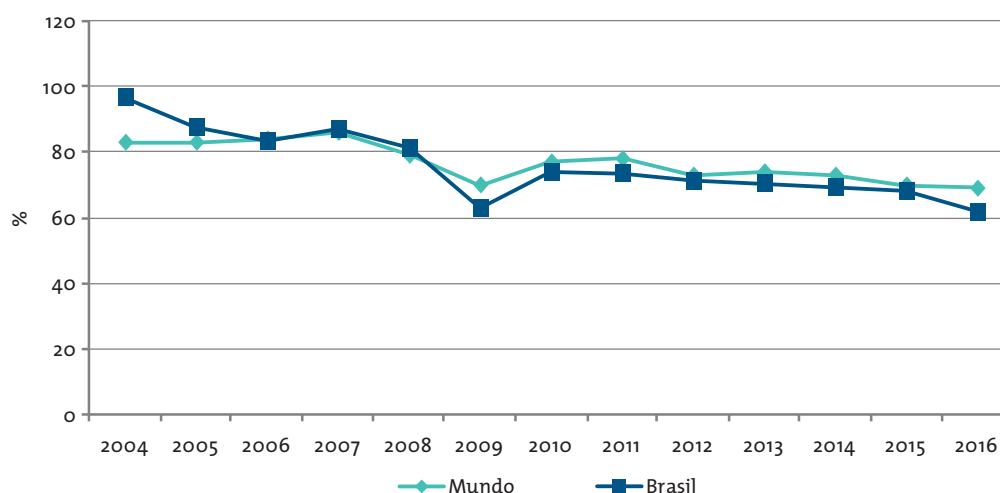
### 3. Investimentos

Os setores de mineração e siderurgia operam atualmente em cenário de sobrecapacidade de oferta, afetados principalmente pela redução brusca das taxas de crescimento da demanda chinesa até sua conversão em crescimento negativo nos anos

de 2015 e 2016. Esse cenário de sobreoferta deve perdurar pelos próximos cinco anos entre os principais mercados desses setores, notadamente no de minério de ferro e de aço-carbono comum.

A produção de aço bruto nos 67 países subordinados à Associação Mundial do Aço (WSA, na sigla em inglês) fechou 2016 com uma produção de 1.592 milhões de toneladas, volume bem abaixo da capacidade produtiva instalada. O Gráfico 1 apresenta a queda observada do nível de utilização da capacidade instalada (Nuci) da siderurgia mundial e do Brasil, nos últimos anos.

Gráfico 1: Nuci da siderurgia



Fonte: Elaboração própria, com base em dados de World Steel Association (WSA), Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Instituto Aço Brasil (IABr).

No Brasil, o Nuci, que chegou a 96% em 2004 – acima da média mundial –, caiu em 2009 para 63% e, com leve e progressiva recuperação, atingiu 71% em 2013, porém registrou queda a partir daí, chegando a 62%, em 2016, enquanto o mundo apresentou Nuci de 69%. O nível de utilização da capacidade de aço no Brasil está abaixo do mundial desde 2006.

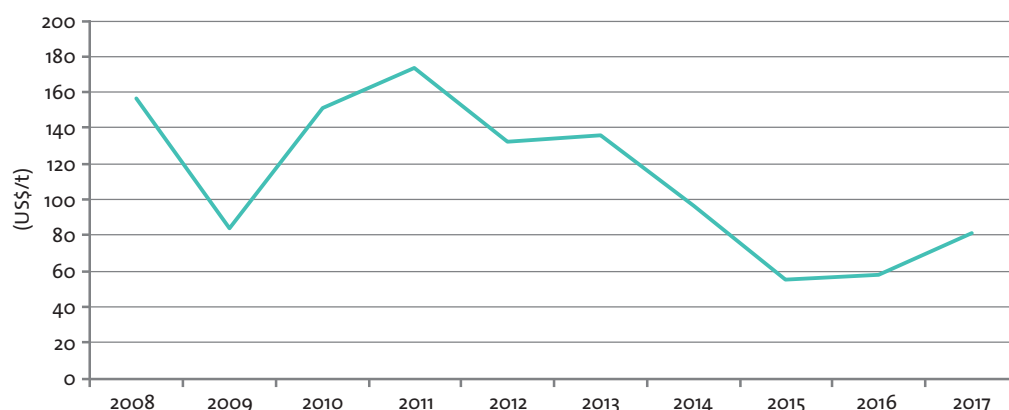
A capacidade instalada atual brasileira é de 51,7 milhões de toneladas de aço bruto. Cabe destacar que a capacidade produtiva brasileira atual é de mais que o dobro do consumo aparente interno de aço, o que não estimula novos investimentos em aumento de capacidade direcionados para o mercado interno. O consumo aparente de produtos siderúrgicos acabados alcançou 18,2 milhões de toneladas em 2016, para uma produção de aço bruto de 30,2 milhões de toneladas.

Além de alguns investimentos pontuais em laminadores, esperados para os próximos anos, e por ser um setor intensivo em energia, o cenário futuro deverá também trazer investimentos para o aumento da eficiência energética, associados à redução de resíduos.

No caso do minério de ferro, apesar do cenário de sobreoferta, a competição mundial entre os quatro maiores produtores por maior participação de mercado tem levado ao aumento de produção da brasileira Vale. O insumo passou por grande instabilidade durante 2016, tocando mínimas de preços em mais de seis anos, mas se recuperou a partir do anúncio de políticas de incentivo aos investimentos e recomposição de estoques na China, além da disciplina de oferta das grandes produtoras. Analistas, porém, alertam que, para 2017, o excesso de oferta no mercado transoceânico ainda é regra e deve provocar quedas nos preços ao longo do ano. Ademais, trata-se de um ano de expansão da produção em duas grandes operações: S11D, da Vale, e Roy Hill, que juntas podem aumentar a oferta em 190 milhões de toneladas.

O Gráfico 2 exibe o comportamento recente dos preços do minério de ferro.

Gráfico 2: Preços do minério de ferro, referência CFR\* 62%, Quindgao – China



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da S&P Global Platts.

\* CFR = custo e frete.

A capacidade de endividamento é atualmente um obstáculo para a realização de investimentos de grandes empresas no setor, considerando-se o alto grau de alavancagem derivado dos elevados investimentos em expansão de capacidade realizados nos últimos anos. Acrescentam-se também os obstáculos estruturais representados pelo baixo grau de conhecimento do potencial geológico brasileiro. Segundo documento recente do Serviço Geológico do Brasil (também conhecido como CPRM em virtude de sua razão social Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), “o conhecimento geológico do país em muitas regiões é ainda incipiente” (BERTOLDO, 2006, p. 1). A escassez de recursos para a prospecção de alvos minerais impede a descoberta e exposição de novas oportunidades de investimentos em pesquisa e para operação de futuras jazidas.

Outro obstáculo diz respeito à dificuldade de pequenas e médias empresas para a captação de recursos de capital e dívida, em função principalmente da elevada incerteza e baixa liquidez associada aos direitos minerários no Brasil. O direito minerário

é em geral o principal ativo das operações de mineração e, portanto, deveria compor significativamente o conjunto de garantias de operações no setor.

Dessa forma, considerando ainda os baixos preços de *commodities* metálicas, com redução das margens de retorno, e a pressão por sustentabilidade ambiental, as oportunidades de investimento deverão se concentrar em modernização ou implantação de sistemas mais eficientes e sustentáveis de produção. Um exemplo desses sistemas são os de recuperação da energia dispersa nas etapas de produção de aço, os quais preveem aquisição de equipamentos mais eficientes não disponíveis no Brasil e que geram retornos diluídos em médio/longo prazo. A exceção estaria por conta de investimentos em mercados de metais com déficit de oferta, a exemplo do zinco.

Assim, esse tipo de investimento enfrentaria outras duas importantes restrições: a baixa concentração de fornecedores nacionais de máquinas e equipamentos, e o elevado custo de capital considerado para análise da viabilidade econômico-financeira. Em direção contrária, a elevação dos custos de mão de obra e de energia tende a impulsionar investimentos para a incorporação de novas tecnologias, que, no entanto, deverão contar com maior penetração de equipamentos importados e financiamento externo.

Uma oportunidade para contornar algumas das restrições aos investimentos no setor seria a viabilização de investimentos nos quais os fornecedores de engenharia e sistemas industriais seriam os beneficiários de financiamentos para implantação de novas unidades de processo e sistemas de recuperação de energia em usinas siderúrgicas, por exemplo, com maior impacto sobre fornecedores nacionais de máquinas e equipamentos. No caso da siderurgia brasileira, nos investimentos destinados ao aporte de nova capacidade, a rubrica equipamentos representa entre 40% e 50% do total dos usos, sendo a sua maioria composta de equipamentos importados, vindos principalmente da Itália, Alemanha, China e Japão.

Além de alguns investimentos pontuais em laminadores, esperados para os próximos anos, oportunidades de investimentos futuros deverão se relacionar ao aumento da eficiência energética e à manutenção da capacidade produtiva, conforme mencionado anteriormente.

Em função da redução das margens e do Nuci relativamente baixo do setor, no mundo, vários investimentos foram postergados ou definitivamente abandonados.

Considerando um movimento de recuperação de preços de *commodities* minerais e metálicas, a partir de 2020, espera-se que o acesso à matéria-prima, principalmente – mas também a experiência e capacitação técnica de profissionais e pesquisadores no Brasil –, induza novos investimentos em capacidade produtiva.

Devem ser considerados também os investimentos em outros segmentos da cadeia minero-metalúrgica, de baixa participação, no entanto com alto potencial para



investimentos futuros. Em relação à mineração, deverão ser observados maiores investimentos de exploração e exploração de minerais não tradicionais. Nesse sentido, o desenvolvimento de indústrias do século XXI poderá gerar oportunidades de investimento, por exemplo, para produção de lítio, terras raras, tântalo, grafita, cobalto, entre outros. O avanço dessas indústrias, incluindo tecnologia e processos de impressão 3D de metais, deverá impulsionar também investimentos para desenvolvimento e produção de ligas metálicas não ferrosas, que poderão elevar sua participação no mercado em relação aos produtos de aço-carbono.

O balanço entre oferta e demanda deverá incentivar investimentos, também, em projetos para produção de zinco, de cobre e de níquel. Além disso, poderão ser viabilizados projetos para produção de fosfatados e potássio para atendimento ao enorme déficit brasileiro de produção de fertilizantes. O aproveitamento de grande parte dessas oportunidades de investimento depende do desenvolvimento de tecnologias e de processos de produção e beneficiamento que permitam sua viabilidade econômica.

Em geral, os investimentos são suportados por instrumentos de dívida e contam com garantia corporativa de grandes grupos. Esse deverá continuar a ser o modelo de financiamento predominante, no entanto, a elevação de investimentos para exploração de minerais não tradicionais bem como para o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de processos e de produção de novas ligas deverá orientar o crescimento da parcela dos investimentos financiada por instrumentos participativos de renda variável.

Por fim, estão em curso ações de agentes públicos e privados no intuito de promover o maior protagonismo do setor na economia brasileira, a exemplo da revisão do marco regulatório da mineração, ações voltadas para o desenvolvimento de fornecedores, além do desenvolvimento de instituições para acreditação de reservas minerais e outras iniciativas para aumentar a parcela de capital de risco em investimentos na exploração e beneficiamento mineral. Consideradas as restrições aqui apontadas relacionadas à escassez de recursos, o BNDES poderá desempenhar um papel importante no desenvolvimento de mecanismos de financiamento e captação para suporte aos investimentos no setor mineral.

## 4. Estrutura de mercado

Algumas barreiras à entrada no setor de mineração, em particular, são as elevadas incertezas relacionadas ao resultado dos investimentos em exploração mineral, bem como em relação à viabilidade econômica dos processos necessários para produção. O elevado volume de capital e as economias de escala estão entre as principais barreiras

à entrada de novas operações nos setores de mineração e de metalurgia, acentuadas pela alta volatilidade dos preços observada nos últimos anos.

A concorrência nos mercados internacionais de produtos padronizados se dá via preços, determinados pelo balanço entre oferta e demanda, com operações mais eficientes deslocando do mercado operações de maior custo.

## 4.1 Mineração

Atualmente, o principal movimento das empresas de mineração está voltado à redução de custos de suas operações, o que tem sido alcançado pelas quatro maiores produtoras de minério de ferro no mundo.

A Vale anunciou uma redução de custo caixa para colocação do minério no porto (equivalente ao custo de produção e logística até o porto excluindo a depreciação) de US\$ 16,2/t no 1º semestre de 2015 para US\$ 14,2/t no 1º semestre de 2016, queda superior a 12%. Quedas superiores a 10% também foram alcançadas pelas rivais Rio Tinto, BHP e FMG. Essas quatro empresas representaram cerca de 49,6% da produção total, em 2015 e 52% em 2016 e respondem por mais de 70% do mercado transoceânico.

A grande redução de custos alcançada pelas quatro maiores produtoras mundiais de minério de ferro faz com que o preço, mesmo baixo, permita margens ainda favoráveis às grandes produtoras, sem impedir a continuidade do ciclo de aumento de produção de operações de menor custo e da consequente concentração de mercado nessas empresas. O mercado tem assistido, nos últimos anos, a uma grande disputa por maior participação em sua dinâmica, na qual as empresas mais eficientes, não só nos custos de produção, mas também em velocidade e gastos na implantação de capacidade produtiva, têm se sagrado vencedoras.

Na mineração, portanto, além da competição por custos (produção e distribuição), as empresas concorrem também em função da economicidade e celeridade para implantação de novas operações. Nesse sentido, os longos processos de licenciamento ambiental brasileiros são uma desvantagem para implantação de novos projetos no país.

No futuro, o aumento da concentração no mercado de minério de ferro, do volume de capital necessário (considerando o esgotamento de jazidas de melhor qualidade) e das economias de escala na produção e distribuição poderá conferir maior poder de mercado e de determinação de preços.

Trata-se de um setor que produz principalmente para exportação e que não deverá observar grandes mudanças em relação às principais empresas concorrentes. Há, no entanto, movimentos estratégicos relacionados à redução da dependência

externa de alguns recursos minerais por parte da China, que poderão elevar sua participação no controle de operações mineiras ao redor do mundo. Esse aumento da participação chinesa na oferta de bens minerais pode vir a ser um vetor de redução de preços (principalmente de margens) no futuro.

## 4.2 Metalurgia

Setor em geral bastante competitivo a nível mundial, a não ser em elementos metálicos de baixa substitutibilidade e de ocorrência mineral concentrada, como é o caso do nióbio. A alta competitividade é bem retratada pelo comportamento dos índices padronizados de preço e pelos índices de concentração da siderurgia. A participação dos quatro maiores produtores de produtos acabados de aço-carbono (CR4) da siderurgia mundial em 2015 foi de 14,4%, com um Herfindahl-Hirschman index (HHI) de aproximadamente 0,011, revelando um mercado no qual os produtores são tomadores de preços.

A principal barreira à entrada é o elevado volume de capital necessário. A intensidade de capital desse setor deve aumentar no futuro, em função principalmente do aumento da adoção de novas tecnologias de monitoramento, automação e controle, e de recuperação de energia e de resíduos de processos.

Diante do cenário de sobreoferta e dos preços baixos dos metais, as empresas aceleram a busca por processos cada vez mais eficientes e de mais baixo custo, a fim de melhorar suas margens de retorno e se manterem no mercado. A crise atual do setor siderúrgico tem imposto o fechamento de usinas mais antigas, em geral menos eficientes, as quais devem ser substituídas por novas usinas com incorporação de tecnologias de produção de menor custo e mais sustentáveis.

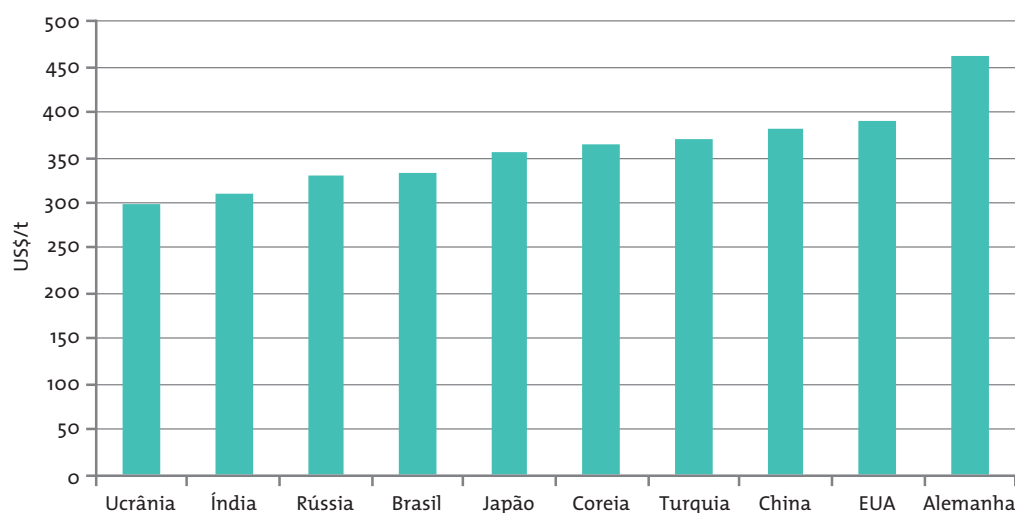
Entre os projetos em implantação para adição de nova capacidade, pode ser observada a característica natural de predominância de empresas nacionais em muitos países, no entanto são identificados investimentos externos principalmente das empresas ArcelorMittal e POSCO, além da Gerdau na América Latina. Essas são empresas com eficiência operacional reconhecida, o que deverá continuar a ser o *driver* principal de competitividade no futuro para mercados de produtos padronizados.

Não há expectativa de grandes mudanças entre os principais grupos produtores mundiais, como houve na última década, com a entrada de grandes produtores chineses (sete das dez maiores empresas siderúrgicas do mundo são chinesas). Espera-se um aumento da participação de mercado de grupos com estratégias firmes de desenvolvimento e acumulação de competências em novas tecnologias aplicadas a sistemas industriais, o que pode ocorrer inclusive no Brasil. Nesse sentido, considerando-se as dificuldades enfrentadas atualmente por algumas usinas brasileiras, o mercado poderá observar o aumento da produção de grupos estrangeiros no país.

A indústria siderúrgica brasileira é bastante concentrada. O CR4 responde por 92% da produção total em 2015. Essa concentração é justificada pelas economias de escala e pelo tamanho do mercado brasileiro. Dada a capacidade de produção instalada de quase o dobro do consumo atual, espera-se a manutenção de elevada concentração nesse mercado.

A produção siderúrgica no Brasil se mostra competitiva quando comparados os custos de produção em relação aos principais produtores mundiais, principalmente em função do acesso ao minério de ferro de menor custo relativo e de alta qualidade. Para ilustrar essa afirmação, o Gráfico 3 mostra a posição relativa do Brasil na produção e no refino do aço em conversores a oxigênio (BOF – *basic oxygen furnace*), entre os dez maiores produtores mundiais.

Gráfico 3: Custo operacional de produção de aço líquido via BOF: dez maiores países produtores – 2014



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da CRU, *Steel Cost Model* 2014.

Com relação às rotas tecnológicas, atualmente, a produção de aço é realizada principalmente em usinas integradas a coque (aproximadamente 74% da produção mundial, em 2016), as quais interligam a redução de minério de ferro (produção de ferro primário) com uso de alto-forno e conversão em aço com uso de BOF. O restante da produção de aço é feito, basicamente, via fornos elétricos a arco (EAF – *electric arc furnace*), que utilizam uma mistura de sucata de aço e ferro primário (ferro-gusa e/ou ferro-esponja) como insumo, e integram as *mini-mills*, caracterizando uma rota tecnológica semi-integrada.

Nos próximos anos, a China deve apresentar uma taxa ligeiramente diferenciada de crescimento na produção de aço via rota EAF em razão de questões ambientais,

porém, a rota de produção a partir de altos-fornos continuará predominante. Atualmente, essa rota, na China, chega a representar, aproximadamente, 80% da produção de aço. No Brasil, 78% da produção de aço, em 2016, deu-se a partir da rota BOF.

Entre os metais não ferrosos, o mercado de alumínio apresenta uma concentração ainda maior que a verificada na siderurgia, no país, e sofre com os movimentos da produção industrial brasileira e a elevação dos custos de energia. Os custos mais altos de energia no Brasil tendem a elevar a penetração de importados nesse mercado.

Merece ainda ser salientado o aumento da produção e das exportações brasileiras de zinco, nos últimos dois anos, outro exemplo de metal não ferroso, que tem como destaque o uso nos processos de galvanização de bobinas de aço e, como maior importador, a China.

## 5. Cadeias produtivas, tendências tecnológicas e vetores de mudanças

A mineração e a metalurgia já vêm sofrendo nos últimos anos com a baixa concentração de fornecedores nacionais, o que tem elevado a participação de equipamentos importados nos projetos de implantação no país. Em passado recente os fornecedores conseguiam uma participação bem maior de conteúdo nacional para integração de seus sistemas.

O cenário de pressão por sustentabilidade ambiental e redução de custos, em função da maior competição global nos mercados, deverá elevar o conteúdo tecnológico dos sistemas de produção nesses setores. Os novos investimentos deverão incluir cada vez mais máquinas, equipamentos e *softwares* de monitoramento e controle para automação da produção, além de sistemas mais eficientes de recuperação de energia. Com a organização produtiva atual, marcada pela predominância de fornecedores estrangeiros, essa elevação do conteúdo tecnológico das plantas tende a elevar ainda mais o conteúdo importado dos projetos e, conseqüentemente, a parcela da renda gerada nesses setores enviada para o exterior.

Em ambos os setores, caso não haja uma estratégia de ação voltada para o desenvolvimento de fornecedores nacionais, os setores se tornarão cada vez mais incapazes de multiplicar renda internamente. Considerando a complexidade tecnológica e os benefícios de negócios em rede, os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento de processos tendem a se basear crescentemente em parcerias com fornecedores de sistemas industriais, equipamentos e *softwares*. A ausência de um sistema capaz de prover esse tipo de interação poderá inibir maiores avanços de produtividade nesses setores.

A metalurgia deve observar um aumento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas ligas metálicas, que poderão representar grandes mercados no futuro, derivados do avanço de setores da economia do século XXI (carro elétrico, energia eólica, energia solar etc.).

O avanço das novas tecnologias (*big data*, manufatura avançada, impressão 3D, novos materiais) poderá modificar a forma de produção industrial nos próximos 15 anos, com alguns efeitos na mineração e na metalurgia. O grau de automação e controle das operações é cada vez maior e a “mina autônoma” já é uma realidade, contemplando operações com utilização de caminhões, sistemas de perfuração, monitoramento e outros transportadores autônomos. Outro importante movimento é a utilização de plataformas digitais para desenvolvimento de novas ligas metálicas cada vez mais customizadas às necessidades dos usuários. Esse movimento já conta com a atuação de empresas focadas exclusivamente nessa atividade tecnológica, as quais detêm a propriedade intelectual das ligas desenvolvidas e terceirizam sua fabricação com parceiros produtores, em geral via metalurgia do pó.

A pressão por maior sustentabilidade impõe a esses setores uma agenda futura de transformação contínua, que deverá ser acelerada em função da maior transversalidade das novas tecnologias, capazes de facilitar o alcance de níveis maiores de automação dos processos industriais e alavancar o desenvolvimento de novos produtos.

Por ser uma das maiores emissoras industriais de gases de efeito estufa (GEE), a metalurgia, com destaque para a siderurgia, é alvo direto das políticas de redução de emissões derivadas do elevado consumo energético. Assim, o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias que promovam a redução do consumo de energia e emissões poderão num futuro próximo se converter em uma obrigação para o setor.

A crise hídrica também já impõe uma agenda de redução da captação de água desses setores. No estado de Minas Gerais, por exemplo, há uma grande dificuldade de se obterem novas outorgas para utilização de água, a não ser a partir da substituição de outorgas antigas descontinuadas.

A incorporação das tecnologias de manufatura avançada deve promover um elevado grau de automação das operações com impacto direto sobre a mão de obra empregada nos setores de mineração e metalurgia. Isso deverá desencadear uma pressão ainda maior acerca da efetiva contribuição das empresas para as regiões e comunidades onde estão alocadas. Nesse cenário, a licença social para operar deve ganhar cada vez mais importância nesses setores.

## 6. Conclusão

Em que pese o desafio normalmente associado a trabalhos dessa natureza, podem-se observar importantes vetores e tendências a impactar os setores de mineração e metalurgia no médio e longo prazos. Turbulências de mercado, pressão por sustentabilidade socioambiental e difusão de novas tecnologias conformam a base para a construção de estratégias de investimento e atuação das empresas.

Nesse cenário, há a tendência de elevação do conteúdo tecnológico e do volume de bens de capital e sistemas digitais aplicados às operações. As empresas deverão ser capazes de encampar estratégias de desenvolvimento contínuo de processos e produtos que respondam às demandas de governo e sociedade por operações mais limpas e sustentáveis.

As soluções para a sustentabilidade nesses setores deverão contar com a interação em redes de negócios que englobem grandes fornecedores de engenharia, tecnologia e processos, além de consumidores e usuários. Nesse sentido, poderá haver uma concentração ainda maior nos mercados em favor de grandes empresas que já caminham na direção da formação de parcerias para inovação, difusão de tecnologias, e exploração de novos mercados.

O Brasil poderá aproveitar a evolução das estratégias de investimento de grandes empresas do setor combinada ao desenvolvimento de estruturas de financiamento capazes de superar desafios de captação para multiplicação do investimento nos setores de mineração e metalurgia, expansão da base total de negócios, e de negócios fornecedores de tecnologia e competitividade.

Como vimos, o conhecimento geológico do país é baixo quando comparado ao de outros países mineradores. O desenvolvimento das estruturas de financiamento, com aumento da parcela de capital de risco, será fundamental para prover os recursos necessários à prospecção de alvos minerais. Na metalurgia, o desenvolvimento de novas ligas metálicas customizadas às necessidades dos usuários requer a elevação do conteúdo tecnológico das plantas industriais, com utilização de plataformas digitais, o que demanda parcerias com fornecedores internacionais de sistemas industriais, equipamentos e *software*. Nesse sentido, identificamos desafios para a mineração e a metalurgia brasileira, mas também um grande potencial de esses setores virem a ser fontes ainda mais importantes de geração de divisas para o país, nos próximos anos.

## Referência

BERTOLDO, A. L. O conhecimento geológico no Brasil. In: *II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais*. Rio de Janeiro, 21 a 25 de agosto de 2006. Rio de Janeiro, IBGE, 2006.

## Sites consultados

INSTITUTO AÇO BRASIL – <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/>>.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – <<http://www.oecd.org/brazil/>>.

S&P GLOBAL PLATTS – <<https://www.steelbb.com/pt/steelprices/>>.

WORLDSTEEL ASSOCIATION – <<https://www.worldsteel.org/>>.